

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra energetiky

Návrh tepelné solární soustavy s optimalizací sklonu kolektorů  
Proposal of Thermosolar System with Optimization of Collector  
Inclination

Student:

Petr Schabjuk

Vedoucí práce:

doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D

Ostrava 2017

## Zadání bakalářské práce

Student: **Petr Schabjuk**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 3907R009 Provoz energetických zařízení  
Téma: **Návrh tepelné solární soustavy s optimalizací sklonu kolektorů**  
**Proposal of Thermosolar System with Optimization of Collectors' Inclination**  
Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

Navrhnete termosolární soustavu pro ohřev vody v rodinném domě obývaném celoročně 6 osobami. Práce bude obsahovat:

1. Rešerši na téma využití sluneční energie pro produkci tepla.
2. Návrh soustavy, způsobu provozování, dispoziční řešení. Stanovení měsíčních a ročních zisků.
3. Provedení optimalizace sklonu kolektorů vzhledem k celoročnímu využitelnému solárnímu zisku.
4. Vyhodnocení návrhu z ekonomického a environmentálního hlediska.
5. Grafickou část - schéma zapojení.

### Seznam doporučené odborné literatury:

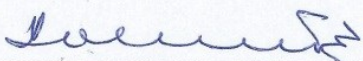
CIHELKA, J. *Solární tepelná technika*. Praha: Malina, 1994. 203 s. ISBN 80-900759-5-9.  
TURNER, W. C. *Energy Management Handbook*. 3. vyd. Lilburn: The Fairmont Press, Inc., 1997. 400 s. ISBN 0-13-728098-X.  
MATUŠKA, T. *Solární tepelné soustavy*. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2009. 194 s. ISBN 978-80-02-02186-5.  
MATUŠKA, T. *Solární zařízení v příkladech*. Praha: Grada Publishing, 2013. ISBN 978-80-247-3525-2.  
VRTEK, M. *Sluneční energie*. [online] Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2012. 111 s. [vid. 2016-10-10].  
Dostupné z: [http://fs1.vsb.cz/361/vyuka/vrt/AOZE/AOZE\\_FAST/ESF\\_Solarni\\_energie\\_Vrtek.pdf](http://fs1.vsb.cz/361/vyuka/vrt/AOZE/AOZE_FAST/ESF_Solarni_energie_Vrtek.pdf)

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

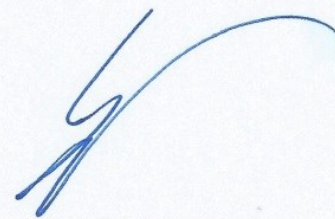
Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.**

Datum zadání: 09.12.2016

Datum odevzdání: 15.05.2017

  
doc. Ing. Kamil Kolarčík, CSc.  
vedoucí katedry



  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty



### Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

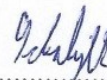
V Ostravě 10.5. 2017

Ychabik  
podpis studenta

### Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домии, же Высoкá škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домии, же odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 10.5.2017



.....  
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Petr Schabjuk

Adresa trvalého pobytu autora práce:

U Lesíka 175/2d, Havířov

## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

SCHABJUK, P. *Návrh tepelné solární soustavy s optimalizací sklonu kolektorů: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2017, 51 s. Vedoucí práce: Vrtek, M.

Bakalářská práce je zaměřena na návrh solární soustavy pro přípravu teplé vody pro rodinný dům. V úvodu se zabývá samotnou sluneční energií a způsoby jak se dá využít k přípravě teplé vody. Po seznámení s využíváním tohoto zdroje, je dále řešena problematika konkrétního návrhu soustavy pro rodinný dům. Ta je nejvíce ovlivněna zeměpisnou polohou a také klimatickými podmínkami, od kterých se dále odvíjí výsledné energetické zisky. V závěru je soustava zhodnocena z ekonomického a environmentálního hlediska.

## **ANNOTATION OF BACHELOR THESIS**

SCHABJUK, P. *Proposal of Thermosolar System with Optimization of Collector Inclination: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical university of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of energetics, 2017, 51 p. Thesis head: Vrtek, M.

The bachelor thesis is focused on the proposal of a solar system for the preparation of hot water for a family house. In the introduction, it deals with solar energy itself and ways of how it can be used to make hot water. After familiarization with the usage of this resource, the issues of a concrete proposal for a family house are further solved. These are mostly affected by geographic location and climatic conditions from which the resulting energy gains are further developed. At the end, the system is evaluated from an economic and environmental aspect.

## Obsah:

1.	Využití sluneční energie pro produkci tepla .....	13
1.1.	Úvod.....	13
1.2.	Solární kolektory.....	13
1.2.1.	Plochý nekrytý kolektor.....	13
1.2.2.	Plochý atmosférický kolektor .....	14
1.2.3.	Plochý vakuový kolektor.....	15
1.2.4.	Trubkový vakuový kolektor s jednostěnnou trubkou .....	15
1.2.5.	Trubkový vakuový kolektor s dvoustěnnou trubkou .....	15
1.2.6.	Koncentrační trubkový kolektor .....	16
1.2.7.	Horkovzdušný solární kolektor .....	16
1.3.	Účinnost solárního kolektoru .....	17
1.4.	Solární soustavy pro přípravu teplé vody .....	18
1.4.1.	Solární soustavy s předehřívacím zásobníkem .....	18
1.4.2.	Solární soustavy s bivalentním zásobníkem .....	19
1.4.3.	Otevřené jednookruhové samotížné systémy.....	20
1.4.4.	Uzavřené jednookruhové samotížné systémy.....	20
1.5.	Vliv orientace a sklonu solárního kolektoru na užitečný zisk.....	21
2.	Návrh a provozování solární soustavy.....	23
2.1.	Denní spotřeba tepla .....	23
2.2.	Měsíční spotřeba tepla .....	24
2.3.	Stanovení množství skutečného slunečního záření na plochu v dané lokalitě .....	25
2.4.	Volba typu kolektoru a jeho energetické zisky.....	27
2.5.	Určení energetické bilance pro jednotlivé měsíce .....	29
2.6.	Volba soustavy .....	31
2.7.	Způsob provozování soustavy .....	32
3.	Optimalizace sklonu kolektorů vzhledem k celoročnímu skutečnému zisku.....	33
3.1.	Výpočet celoročního skutečného zisku.....	33
3.2.	Stanovení sklonu solárních kolektorů.....	34
3.3.	Energetické zisky pro sklon kolektorů 60° .....	34
4.	Vyhodnocení návrhu z ekonomického hlediska.....	37
4.1.	Výpočet úspor pro přípravu teplé vody .....	37
4.2.	Výpočet ceny elektrické energie pro provoz oběhového čerpadla .....	38
4.3.	Výpočet celkové roční úspory .....	39
4.4.	Výpočet návratnosti investice .....	39

5.	Vyhodnocení návrhu z environmentálního hlediska.....	40
5.1.	Výpočet uspořádaného ročního množství emisí.....	40
5.2.	Výpočet ročního navýšení množství emisí provozem oběhového čerpadla .....	42
6.	Grafická část – schéma zapojení. ....	43
7.	Závěr.....	44
8.	Seznam použité literatury.....	45
9.	Seznam příloh .....	49
10.	Seznam tabulek .....	49
11.	Seznam obrázků .....	50
12.	Seznam grafů .....	51

## Seznam použitých zkratk

CO	oxid uhelnatý
CO <sub>2</sub>	oxid uhličitý
CZT	centrální zásobování teplem
Č	čerpadlo
EU	Evropská unie
NO <sub>x</sub>	oxidy dusíku
OL	organické látky
OZE	obnovitelné zdroje energie
RD	rodinný dům
SO <sub>2</sub>	oxid siřičitý
SV	studená voda
TV	teplá voda
TZL	tuhé znečišťující látky
ZL	znečišťující látky
ŽP	životní prostředí



## Seznam použitých veličin

$C$	cena	[Kč]
$E$	emise	[kg], [kg/m <sup>3</sup> ]
$G$	intenzita slunečního záření	[W/m <sup>2</sup> ]
$G_m$	intenzita slunečního záření	[W/m <sup>2</sup> ]
$N$	náklady	[Kč]
$N$	nedostatek energie	[Wh]
$P$	přebytek energie	[Wh]
$PN$	prostá návratnost	[rok], [měsíc]
$Q$	energie	[Wh]
$Q'$	energie	[J]
$Q_i$	výhřevnost paliva	[J/m <sup>3</sup> ]
$S$	plocha	[m <sup>2</sup> ]
$SP$	spotřeba	[Wh]
$SP'$	spotřeba	[J]
$T_m^*$	redukovaný teplotní rozdíl	[K.m <sup>2</sup> /W]
$Ú$	úspora	[Kč]
$V$	objem	[m <sup>3</sup> ]
$\dot{V}$	spotřeba vody	[l/(den · osoba)]
$a_1$	lineární ztrátový koeficient kolektoru	[W/(m <sup>2</sup> · K)]
$a_2$	nelineární ztrátový koeficient kolektoru	[W/(m <sup>2</sup> · K <sup>2</sup> )]
$c_p$	měrná tepelná kapacita	[J/(kg · K)]

f	faktor pokrytí	[-]
n	počet	[1]
t	teplota	[°C]
z	přirážka na tepelné ztráty	[-]
$\eta$	účinnost	[-], [%]
$\eta_0$	optická účinnost kolektoru	[-]
$\tau$	doba slunečního svitu	[h]

#### Seznam použitých indexů

CO	oxid uhelnatý
K	měrný zisk kolektoru
NO <sub>x</sub>	oxidy dusíku
OL	organické látky
S	sluneční
SK	skutečný
SK-P	bez přebytků
SO <sub>2</sub>	oxid siřičitý
TV6	teplá voda pro 6 osob
TZL	tuhé znečišťující látky
a	apertura
c	celoroční
cel	celkový

den	den
duben	duben
e	střední v době slunečního svitu
el	elektrická energie
f	faktor
i	střední
inv	investice
leden	leden
m	měrný
max	maximální
měsíc	měsíc
oč	oběhové čerpadlo
pal	palivo
rel	relativní
rok	rok
s	studená voda
skut	skutečná
t	teplá voda
teor	teoretický
voda	voda

## ÚVOD

Vzhledem ke zvyšujícím se cenám energií v důsledku stálého nárůstu počtu obyvatel na Zemi a také zmenšujících se zásob ropy, uhlí a zemního plynu, jsou lidé nuceni začít se zajímat o alternativní zdroje energie a to především o obnovitelné zdroje energie (OZE). Energie, ať už v jakékoliv formě, je pro člověka nezbytně důležitá. Málokdo z nás by si v dnešní době uměl představit, že bychom žili bez elektřiny nebo teplé vody.

V dnešní době se o zvětšení podílu OZE v celkové produkci energie snaží i například česká vláda, nebo Evropská unie (EU) a to různorodými dotacemi a úlevami pro výrobce energií z obnovitelných zdrojů, jako jsou například fotovoltaické elektrárny.

Cílem mé bakalářské práce je navrhnout solární ohřev vody pro náš rodinný dům (RD) ve kterém žije šest osob a následně vyhodnotit, jaký bude jeho dopad na rodinné finance a také jaký vliv bude mít na životní prostředí (ŽP).



## 1. Využití sluneční energie pro produkci tepla

### 1.1. Úvod

Slunce, které je středem naší planetární soustavy, je naší nejbližší hvězdou. Většina energie na Zemi pochází ze Slunce, kde vzniká při termonukleárních reakcích. Termonukleární reakce je přeměna atomárního vodíku na helium a probíhá v centru Slunce při teplotě  $13 \cdot 10^6$  K a tlaku  $2 \cdot 10^{10}$  MPa. Při těchto podmínkách jsou všechny atomy zcela ionizovány a nacházejí se ve skupenství plasmy. Na slunečním povrchu je měrný tok energie  $6 \cdot 10^7$  W/m<sup>2</sup>. Na své trase k Zemi, která měří 150 milionů kilometrů, není záření pohlcováno a na hranici zemské atmosféry se dostává v původní podobě, ovšem s nižší intenzitou, jelikož dochází k jejímu rozptylu na větší plochu. Měrný tok energie dopadající na povrch zemské atmosféry je 1 360 W/m<sup>2</sup>. Tuto hodnotu nazýváme jako sluneční konstantu. Přeměna sluneční energie na tepelnou energii – fototermální přeměna – je jednou z nejjednodušších variant jak využít energii slunečního záření. Fototermální přeměna je založena na absorpci slunečního záření na povrchu pevných nebo kapalných látek, při které dochází ke změně energie fotonů na teplo. [5]

### 1.2. Solární kolektory

Solární kolektory jsou zařízení, která slouží k pohlcování slunečního záření a jeho následné přeměně na energii tepelnou. Tato energie je dále předávána teplotonosnému médiu, které protéká kolektorem. V naprosté většině případů se využívají solární kolektory, ve kterých je jako teplotonosná látka použita kapalina (voda, nemrznoucí směs vody a propylenglykolu). Kapalinové kolektory nejčastěji obsahují trubky, kterými protéká teplotonosná kapalina. Ta slouží k odvodu tepla z povrchu absorbéru. Zřídka se využívají vzduchové kolektory, které slouží k ohřevu čerstvého větracího vzduchu nebo oběhového vzduchu pro cirkulační vytápění. [1]

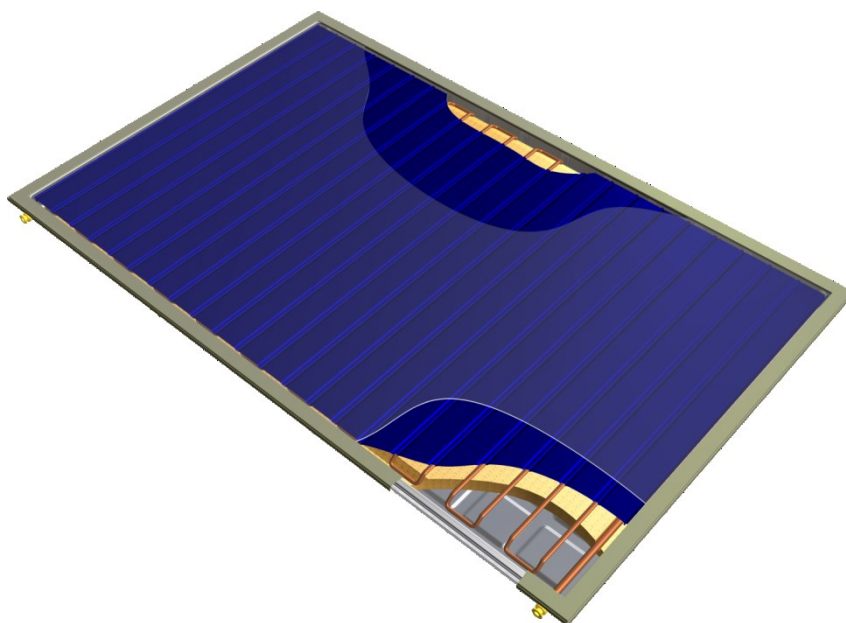
#### 1.2.1. Plochý nekrytý kolektor

Jelikož nekrytý kolektor není zasklen, jeho optické vlastnosti jsou velmi dobré, protože nedochází k odrazu slunečních paprsků na zasklení. Na druhé straně tento kolektor je zatížen vysokými tepelnými ztrátami. Výkon a účinnost nekrytého kolektoru jsou velmi ovlivňovány okolním prostředím (teplotou okolí, teplotou oblohy, rychlostí větru). Nejvýraznější vliv na tepelné ztráty a účinnost má rychlost větru.

Zvyšováním rychlosti větru výrazně rostou tepelné ztráty. To způsobuje prudký pokles účinnosti kolektoru. Nekryté kolektory se vyrábějí většinou z plastů odolných proti UV záření a vzhledem ke své účinnosti jsou vhodné hlavně k sezónnímu ohřevu vody pro bazény. [1]

### 1.2.2. Plochý atmosférický kolektor

Plochá apertura a plochý absorbér jsou obecnými znaky pro ploché solární kolektory. Ve většině případů je absorbér vyroben z kovových materiálů (hliník, měď, ojediněle ocel) a jejich kombinací. Absorbér může být tvořen jedním plechem nebo být dělený na lamely. Ploché kolektory se vyrábí převážně s absorbérem, který je opatřen selektivním povrchem. Absorpční plocha se navažuje, pájí nebo lisuje na trubkový registr (viz obrázek 1), kterým proudí teplotonosná kapalina zajišťující odvod využitelného tepla. Rám kolektoru je buď výlisek, nebo se skládá z profilů a dle potřeby je vyplněn tepelnou izolací. Ploché kolektory se často uplatňují v oblasti integrace do obálky budov (střechy, fasády). Integrace přináší vyšší účinnost kolektoru například při kontaktní instalaci. [1]



Obrázek 1- 3D řez plochým solárním kolektorem Thermosolar TS 510 [7]

### **1.2.3. Plochý vakuový kolektor**

Tento typ kolektorů se vyznačuje především využitím nízkého tlaku ve skříní kolektoru (1 až 10 kPa) pro snížení tepelných ztrát kolektoru, které jsou způsobovány volným prouděním vzduchu mezi absorpční plochou a zasklením nebo stěnou kolektoru. Rám musí být vakuotěsný, proto se jedná ve většině případů o výlisek (bezešvou vanu), který je uzavřen tabulí solárního skla. Tento spoj je proveden pomocí speciálního tepelně odolného těsnění. Sklo je vyztuženo rastrově uspořádanými nerezovými opěrnými elementy, které chrání sklo před prasknutím vlivem působení vnějšího atmosférického tlaku nebo nárazem různých předmětů. Plochý vakuový kolektor je vhodný například pro vytápění nebo přípravu teplé vody. [1]

### **1.2.4. Trubkový vakuový kolektor s jednostěnnou trubkou**

Klasický typ trubkových vakuových kolektorů využívá jednostěnné skleněné uzavřené trubky. V trubce je umístěna plochá lamela absorberu pokrytá selektivním povrchem. Z absorberu je teplo odváděno tepelnou trubicí (U-registr, koncentrické potrubí), kterou protéká teplotonosná kapalina. Vnitřní prostor trubky je vyplněn vakuem o tlaku nižším než 1 mPa. Trubky jsou vyrobeny z boritokřemičitého skla pro vysokou pevnost a odolnost vůči změnám teploty. Kvalitní trubky jsou pokryty antireflexním povlakem, který zvyšuje propustnost slunečního záření až na 95 %. [1]

### **1.2.5. Trubkový vakuový kolektor s dvoustěnnou trubkou**

Trubkový vakuovaný kolektor s dvoustěnnou trubkou, který můžeme vidět na obrázku 2, využívá tzv. Sydney trubku. Sydney trubka je dvojitěnná válcová koncentrická celoskleněná trubka, kde vnitřní trubka má funkci absorberu a je opatřena selektivním absorpčním povrchem. Vnější trubka slouží jako zasklení a ochrana před atmosférickými vlivy. Meziprostor mezi trubkami tvoří vakuum. Sydney trubky jsou vyráběny z boritokřemičitého skla, které má nízkou tepelnou roztažnost a odstraňuje vnitřní napětí při teplotním namáhání. Konstrukční řešení trubkových Sydney kolektorů je pomocí přímo protékaného registru nebo tepelné trubice. Přenos tepla z vnitřního povrchu absorpční trubky do teplotonosné kapaliny je zajištěn pomocí teplosměnné vodivé lamely (většinou z hliníku), která vykazuje kvalitní kontakt s vnitřním povrchem absorpční trubky i s potrubím zajišťujícím odvod tepla. [1]



Obrázek 2 - Solární vakuový kolektor HP-58-1800-20 [8]

#### **1.2.6. Koncentrační trubkový kolektor**

Sydney trubky se často vybavují odraznými zrcadly (reflektory), které zvyšují dopadající energii na plochu absorbéru. Levnější typy trubkových Sydney kolektorů jsou opatřeny jednoduchými plochými difúzními reflektory umístěnými za trubkami. Lepšího účinku můžeme dosáhnout reflektory s vhodně tvarovaným povrchem (parabolické koncentrátoři). Aplikováním reflektorů sice snížíme počet použitých trubek v kolektoru (levnější řešení), ale na druhé straně v některých zeměpisných oblastech může být použití reflektorů problematické kvůli zachycování sněhové pokrývky nebo tvorbě ledu. [1]

#### **1.2.7. Horkovzdušný solární kolektor**

Horkovzdušný solární kolektor se liší od kapalinového kolektoru tím, že jako teplotonosnou tekutinu používá vzduch. Velkou nevýhodou vzduchových kolektorů je nízká tepelná kapacita vzduchu. Z tohoto důvodu musí mít horkovzdušný kolektor vysoký průtok teplotonosné tekutiny, kterým jsou způsobeny vyšší náklady na pohon a kolektor má také větší rozměry. V České republice se vzduchové kolektory již téměř nepoužívají. Určitý potenciál vzduchových kolektorů je v možnosti jejich využití pro předehřev čerstvého vzduchu pro větrání. [2] [3]



### 1.3. Účinnost solárního kolektoru

Když přijmeme zjednodušení, že ve vztahu:

$$\eta = \eta_0 - a_1 \cdot T_m^* - a_2 \cdot G \cdot T_m^{*2} \quad [-] \quad (1)$$

kde

$\eta_0$  - optická účinnost kolektoru [-]

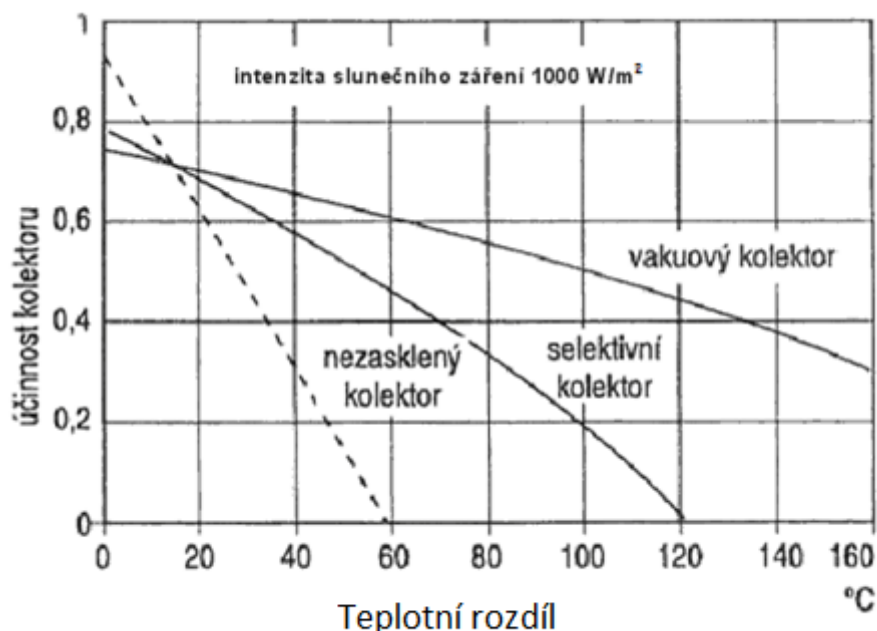
$a_1$  - lineární člen regresní účinnostní rovnice [W/(m<sup>2</sup>·K)]

$a_2$  - nelineární člen regresní účinnostní rovnice [W/(m<sup>2</sup>·K<sup>2</sup>)]

$T_m^*$  - redukovaná teplota [K·m<sup>2</sup>/W]

$G$  - intenzita celkového záření dopadající kolmo na kolektor [W/m<sup>2</sup>]

lineární člen  $a_1$  představuje míru tepelných ztrát vedením a prouděním a člen  $a_2$  míru ztrát radiací, tak provedeme-li bilanci jen samotné vakuové trubice s absorbérem, můžeme člen  $a_1$  považovat za nulový. Což by znamenalo, že vakuová trubice má pouze optické ztráty a ztráty způsobené radiací. Účinnostní charakteristika potom bude méně strmá než u klasických plochých kolektorů. (viz obrázek 3)



Obrázek 3 – Účinnostní charakteristika kolektorů [9]

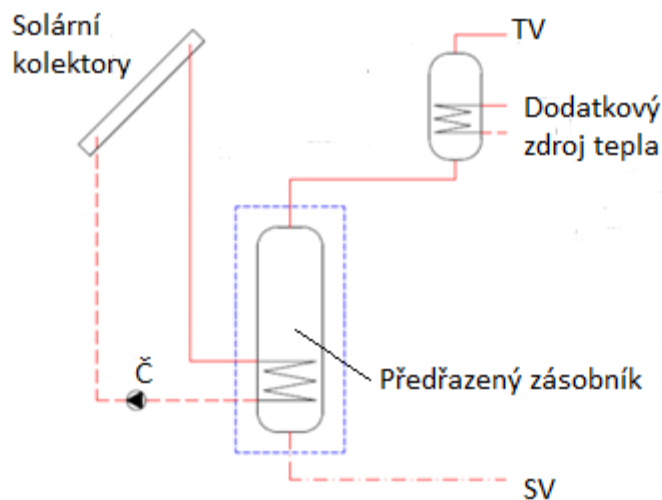
Ve skutečnosti však člen  $a_1$  nebude nikdy nulový, jelikož zbylé části trubicového kolektoru již mají ztráty způsobené vedením a prouděním. Bývá ale dvakrát až třikrát menší než odpovídající člen pro plochý kolektor. Avšak při srovnávání těchto členů si musíme dát pozor, abychom srovnávali to, co se může srovnávat, jelikož ploché kolektory a vakuové kolektory mají různou konstrukci. Proto je pro srovnávání jejich energetické kvality potřebné brát v potaz jejich hodnoty vztažené na plochu absorberu. U kolektorů s válcovým absorberem (bez koncentrátorů) se jako plocha absorberu považuje průmět válcové plochy do roviny. [3]

#### **1.4. Solární soustavy pro přípravu teplé vody**

Základními prvky solárních soustav jsou kolektor, čerpadlo kolektorového okruhu s ochrannými prvky (zpětná klapka, expanzní nádoba a pojistný ventil). Zpětná klapka zabraňuje kapalině, aby proudila zpět v době, kdy je čerpadlo vypnuto. Expanzní nádoba plní funkci kompenzátoru objemu při zvětšování nebo zmenšování objemu teplotnosné kapaliny v kolektorovém okruhu. Ke změně objemu teplotnosné kapaliny dochází vlivem měnící se teploty během běžných provozních stavů, nebo i v období stagnace. Nejnepríznivější stav stagnace nastává v letních měsících, a to když je zásobník plně nabitý teplem a tudíž se čerpadlo kolektorového okruhu vypne. Pokud je zároveň jasná obloha, teplo a na solární kolektor dopadá sluneční záření, kolektor se začne zahřívat a může se stát, že se teplotnosná kapalina v solárním kolektoru začne vypařovat. Tím dojde k velkému nárůstu objemu a tlaku. V případě, že je nárůst objemu tak velký, že se s ním expanzní nádoba nevyrovná, použije se pojistný ventil. Po dalším spuštění čerpadla by se měl objem odpuštěné kapaliny zase doplnit. [3]

##### **1.4.1. Solární soustavy s předehřívacím zásobníkem**

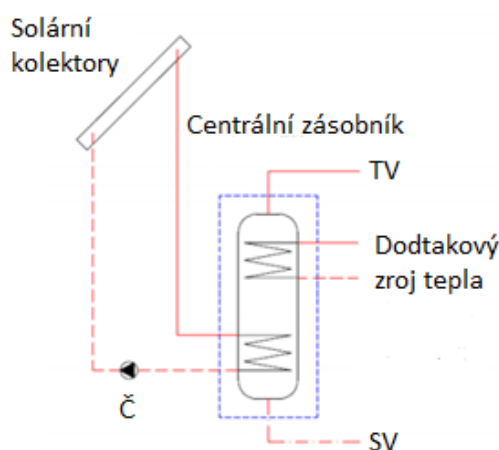
Typ solární soustavy, ve které je teplotnosná kapalina poháněna pomocí čerpadla, jelikož její konstrukce neumožňuje vznik přirozeného oběhu teplotnosné kapaliny v okruhu. V předřazeném solárním zásobníku dochází k předehřevu vody pomocí solárního výměníku. Výstup ze solárního zásobníku je poté přiveden do dohřívacího zásobníku nebo průtokového ohříváče. Voda se dohřívá dodatkovým zdrojem tepla, pokud na výstupu ze zásobníkového dohříváče nedosahuje požadované teploty. Tento typ solárních soustav, jejichž schéma můžeme vidět na obrázku 4, je vhodný především při rekonstrukcích, kdy je předehřívací zásobník umístěn před stávající přípravu teplé vody. [1]



Obrázek 4 - Schéma solární soustavy s předehřívacím zásobníkem [1]

#### 1.4.2. Solární soustavy s bivalentním zásobníkem

Bivalentní solární zásobník obsahuje dva tepelné výměníky. V dolní části je to solární výměník. V horní části je to pak dodatkový zdroj tepla (dohřívací teplovodní výměník tepla, elektrická topná vložka). Dodatkový zdroj tepla je zde proto, aby udržoval horní část zásobníku na požadované teplotě. Tento typ solární soustavy je



Obrázek 5 – Schéma soustavy s bivalentním zásobníkem [1]

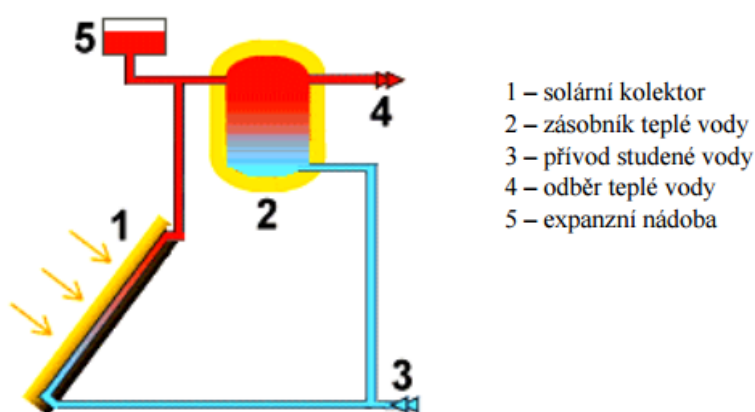
vhodný pro novostavby, chaty, sportoviště, kempy apod. díky svým nenáročným požadavkům na prostor. [1]

#### 1.4.3. Otevřené jednookruhové samotížné systémy

Jedná se o typ solárních soustav, jejichž konstrukce umožňuje vznik přirozeného oběhu teplotnosné kapaliny v okruhu (zásobník s výměníkem je umístěn ve vyšší poloze než solární kolektory). V našich podmínkách se používají sezónně, ale jsou velmi oblíbené zejména v jižních státech, kde teplota padá pod bod mrazu jen výjimečně a jen na krátkou dobu. V těchto systémech není potřeba tepelného výměníku ani expanzní nádoby, jelikož jsou samoregulovatelné. Samoregulace je zajištěna pomocí plováku, který při jistém stavu hladiny uzavírá přívod studené vody. Výhodou tohoto systému je kvalitní přenos tepla, jelikož nedochází k žádným ztrátám při výměně tepla ve výměníku. [4]

#### 1.4.4. Uzavřené jednookruhové samotížné systémy

Na rozdíl od otevřených systémů musí být uzavřený systém (viz obrázek 6) doplněn o několik prvků. Ty zajišťují bezpečnost celého systému. Jedná se hlavně o expanzní nádobu a pojistný ventil. Výhoda kvalitního přenosu tepla z kolektoru do zásobníku zůstává zachována. [4]

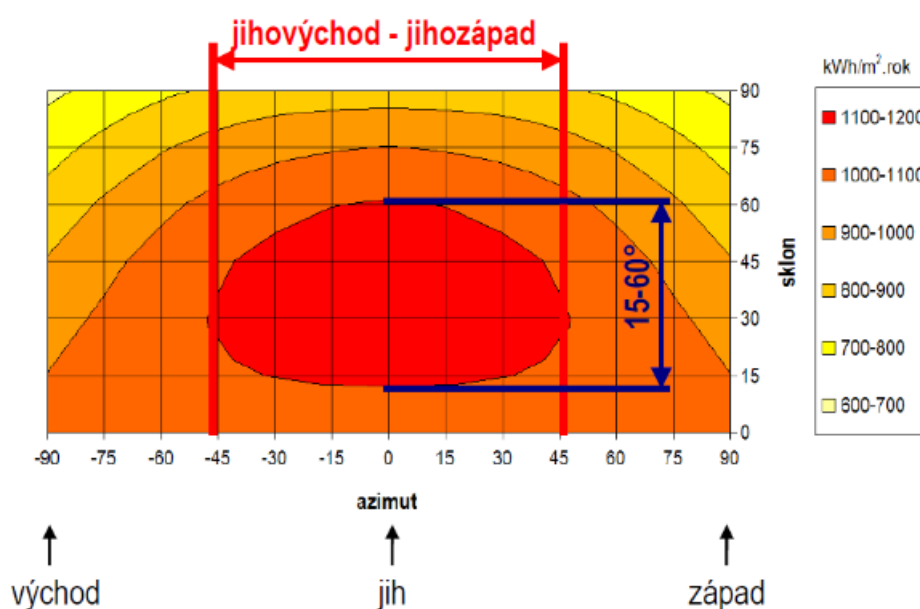


Obrázek 6 – Schéma jednookruhového samotížného systému [10]



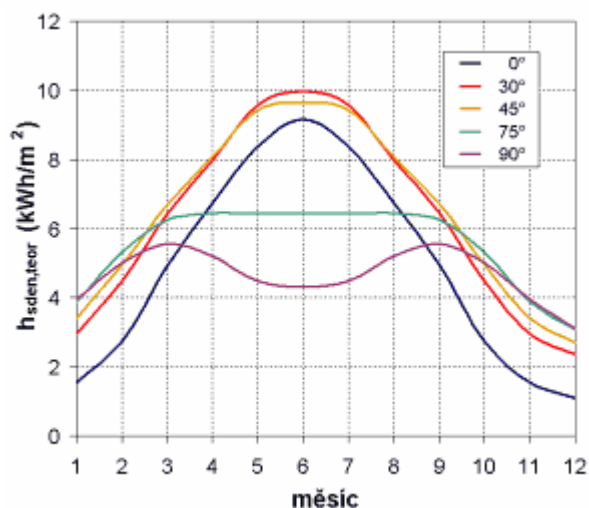
## 1.5. Vliv orientace a sklonu solárního kolektoru na užitečný zisk

Množství sluneční energie, které dopadne na plochu solárního kolektoru za daný čas, závisí na sklonu a orientaci (azimutu) kolektoru. Optimální orientace kolektoru vzhledem k roční dopadající sluneční energii je směrem na jih. Avšak při odchylce azimutu do  $45^\circ$  (jihovýchod, jihozápad) se množství dopadající energie nemění o více než 10% což můžeme vidět na obrázku 7. Nicméně pro provoz solárních tepelných kolektorů je výhodnější orientace směrem na jihozápad vzhledem k hlavní době provozu za vyšších odpoledních teplot vzduchu, které znamenají menší tepelné ztráty kolektoru a tím i vyšší účinnost celé soustavy. Pokud jsou kolektory orientovány na východ nebo na západ, dochází k významnému poklesu dopadající sluneční energie a to o více než 20%.



Obrázek 7 - Dávky slunečního ozáření v ČR s vyznačením vhodných azimutů od jihu [2]

Optimální sklon kolektorové plochy vzhledem k nejvyššímu úhrnu dopadající sluneční energie za rok v České republice je okolo  $35^\circ$ . Pro systémy, které se využívají sezónně, se sklon přizpůsobuje danému období. Pro letní provoz (bazény, koupaliště) je vhodné zvolit sklon  $10$  až  $30^\circ$ . Pro zimní provoz se sklon kolektorů volí v rozmezí  $70$  až  $90^\circ$ . (viz obrázek 8) [2]



Obrázek 8 - Roční profil dávek slunečního ozáření na různě skloněné plochy [2]

## 2. Návrh a provozování solární soustavy

V této kapitole se budu věnovat návrhu tepelné solární soustavy pro náš rodinný dům v Havířově. Dále také stanovím měsíční a roční zisky této mnou navrhované soustavy. Budu počítat s tím, že voda bude celoročně ohřívána z 10 °C na 60 °C. V naší domácnosti žije šest osob a potřeba teplé vody je 50 litrů na osobu a den. Dle tabulky 1 určím koeficient ztrát  $z = 0,15$ .

Typ přípravy TV	z
Lokální průtokový ohřev	0,00
Centrální zásobníkový ohřev bez cirkulace	0,15
Centrální zásobníkový ohřev s řízenou cirkulací	0,30
Centrální zásobníkový ohřev s neřízenou cirkulací	1,00
CZT, příprava TV s meziobjektovými přípojkami, TV	> 2,00

Tabulka 1 – Přirážka na tepelné ztráty přípravy teplé vody [1]

### 2.1. Denní spotřeba tepla

V této kapitole budu počítat, jaké množství tepla bude potřeba pro přípravu TV na jeden den. V tabulce 2 jsou uvedeny počáteční údaje.

veličina	značka	hodnota	jednotka
počet členů rodiny	n	6	[-]
denní spotřeba teplé vody	$\dot{V}$	50	[l/(den · osoba)]
teplota SV	$t_s$	10	[°C]
teplota TV	$t_t$	60	[°C]
tepelné ztráty	z	0,15	[-]

Tabulka 2 – Vstupní hodnoty k výpočtům

Výpočet energie potřebné pro přípravu TV pro jednu osobu:

$$Q' = \dot{V} \cdot c_{p,voda} \cdot (t_t - t_s) = 50 \cdot 4,19 \cdot (60 - 10) = 10\,475 \text{ kJ}/(\text{den} \cdot \text{osoba}) \quad (2)$$

kde měrná tepelná kapacita vody  $c_{p,voda}$  je určena dle [6]

Přepočet energie pro přípravu TV pro jednu osobu na kWh:

$$Q = \frac{Q'}{3600} = \frac{10\,475}{3600} = 2,91 \text{ kWh}/(\text{den} \cdot \text{osoba}) \quad (3)$$

Výpočet potřebné energie pro šest osob:

$$Q_{TV6} = n \cdot Q = 6 \cdot 2,91 = 17,46 \text{ kWh/den} \quad (4)$$

Výpočet energie po zahrnutí ztrát:

$$Q_{\text{den}} = (1 + z) \cdot Q_{TV6} = (1 + 0,15) \cdot 17,46 = 20,08 \text{ kWh/den} \quad (5)$$

## 2.2. Měsíční spotřeba tepla

V této části se budu věnovat výpočtu potřebné energie v jednotlivých měsících v roce. Výpočet pro leden uvedu i s postupem výpočtu, zbylé měsíce uvedu do tabulky.

Výpočet energie potřebné pro měsíc leden:

$$Q_{\text{leden}} = Q_{\text{den}} \cdot n = 20,08 \cdot 31 = 622,48 \text{ kWh} \quad (6)$$

Kde n značí počet dní v měsíci.

měsíc	počet dní v měsíci	potřebná energie [kWh]
leden	31	622
únor	28	562
březen	31	622
duben	30	602
květen	31	622
červen	30	602
červenec	31	622
srpen	31	622
září	30	602
říjen	31	622
listopad	30	602
prosinec	31	622
Σ	365	7 329

Tabulka 3 – Spotřeba energie v jednotlivých měsících



### 2.3. Stanovení množství skutečného slunečního záření na plochu v dané lokalitě

Níže uvedená tabulka 4 ukazuje možné sluneční zisky podle statistik pro lokalitu Ostrava. Hodnoty jsem vybral pro orientaci kolektorů na jih a sklon kolektorů 45°.

měsíc	teoretická energie ze slunce [kWh/(m <sup>2</sup> ·den)]	teoretická doba slunečního svitu [h]	měrná doba slunečního svitu [-]
	$Q_{S,den,teor}$	$\tau_{teor}$	$\tau_{rel}$
leden	3,40	8,26	0,27
únor	4,96	10,12	0,30
březen	6,70	12,00	0,30
duben	8,06	13,90	0,37
květen	9,42	15,70	0,47
červen	9,64	16,34	0,45
červenec	9,42	15,70	0,55
srpen	8,06	13,90	0,55
září	6,70	12,00	0,43
říjen	4,96	10,12	0,38
listopad	3,40	8,26	0,19
prosinec	2,70	7,85	0,18

Tabulka 4 – Vstupní hodnoty pro výpočet energetických zisků v dané lokalitě [5]

Výpočet skutečné energie slunečního záření pro den v měsíci:

Výpočet provedu pro měsíc leden

$$Q_{S,den,SK,leden} = Q_{S,den,teor} \cdot \tau_{rel,leden} = 3,40 \cdot 0,27 = 0,92 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{den}) \quad (7)$$

Výpočet skutečné energie slunečního záření pro měsíc leden:

$$Q_{S, \text{leden}, SK} = Q_{S, \text{den}, Sk, \text{leden}} \cdot n = 0,92 \cdot 31 = 28,52 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{den}) \quad (8)$$

Kde n značí počet dní v měsíci.

V níže uvedené tabulce 5 jsou uvedeny výsledky skutečné energie slunečního záření i pro zbývajících měsíce.

měsíc	počet dní v měsíci	skutečná energie ze slunce za den	skutečná energie ze slunce za měsíc
		kWh/(m <sup>2</sup> ·den)	kWh/(m <sup>2</sup> ·měsíc)
leden	31	0,92	28,52
únor	28	1,49	41,66
březen	31	2,01	62,31
duben	30	2,98	89,47
květen	31	4,43	137,25
červen	30	4,34	130,14
červenec	31	5,18	160,61
srpen	31	4,43	137,42
září	30	2,88	86,43
říjen	31	1,88	58,43
listopad	30	0,65	19,40
prosinec	31	0,49	15,07

Tabulka 5 – Zisky sluneční energie v jednotlivých měsících pro Ostravu

## 2.4. Volba typu kolektoru a jeho energetické zisky

Pro náš dům jsem vybral solární kolektor KPG1+, který dodává firma Regulus s.r.o. Technický list kolektoru je připojen na konci práce. V níže uvedené tabulce 6 jsou uvedeny základní údaje o účinnosti, které jsou potřebné pro zjištění účinnosti solárního kolektoru v průběhu roku. Pro další výpočty budu používat přepočet na plochu apertury.

	označení	hodnota	jednotka
konverzní faktor	$\eta_0$	0,786	[-]
ztrátový koeficient	$a_1$	3,7470	$[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$
ztrátový koeficient	$a_2$	0,0048	$[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^2)]$

Tabulka 6 – Koeficienty účinnosti solárního kolektoru

Výpočet střední teploty TV:

$$t_i = \frac{t_t + t_s}{2} = \frac{60 + 10}{2} = 35^\circ\text{C} \quad (9)$$

Kde  $t_t$  a  $t_s$  jsou hodnoty uvedené v tabulce 2.

Výpočet intenzity slunečního záření pro měsíc leden:

$$G_{m,\text{leden}} = \frac{Q_{S,\text{den},\text{teor},\text{leden}}}{\tau_{\text{teor},\text{leden}}} = \frac{3,40}{8,26} = 0,412 \text{ kW/m}^2 = 412 \text{ W/m}^2 \quad (10)$$

Kde  $Q_{S,\text{den},\text{teor},\text{leden}}$  a  $\tau_{\text{teor},\text{leden}}$  jsou hodnoty z tabulky 4.

Výpočet účinnosti kolektoru pro měsíc leden:

$$\begin{aligned} \eta_{\text{leden}} &= \eta_0 - \frac{a_1 \cdot (t_i - t_{e,\text{leden}})}{G_{m,\text{leden}}} - \frac{a_2 \cdot (t_i - t_{e,\text{leden}})^2}{G_{m,\text{leden}}} = \\ &= 0,786 - \frac{3,747 \cdot (35 - 0,78)}{412} - \frac{0,0048 \cdot (35 - 0,78)^2}{412} = 0,474 = 47,4 \% \end{aligned} \quad (11)$$

Kde  $t_{e,\text{leden}}$  je střední teplota v době slunečního svitu z níže uvedené tabulky 7.

měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$t_e [^\circ\text{C}]$	0,78	0,14	4,96	8,44	13,58	16,82	19,36	19,1	13,66	8,2	3,68	0,294

Tabulka 7 – Střední teploty v době slunečního svitu pro danou lokalitu (římské číslice značí pořadí měsíců v roce) [5]

Výpočet měrného tepelného zisku kolektoru pro měsíc leden:

$$Q_{K,leden,SK} = \eta_{leden} \cdot Q_{S,leden,SK} = 0,474 \cdot 28,52 = 13,49 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{leden}) \quad (12)$$

Kde  $Q_{S,leden,SK}$  je hodnota z tabulky 5.

V níže uvedené tabulce 8 jsou uvedeny vypočítané hodnoty i pro ostatní měsíce.

měsíc	intenzita slunečního záření	účinnost kolektoru	měrný tepelný zisk kolektoru
	$G_m$	$\eta$	$Q_{K,měsíc,SK}$
	$[\text{kW}/\text{m}^2]$	$[\%]$	$[\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{měsíc})]$
leden	0,412	47,4	13,49
únor	0,490	51,9	21,63
březen	0,558	58,4	36,40
duben	0,580	61,4	54,95
květen	0,600	65,2	89,49
červen	0,590	67,0	87,24
červenec	0,600	68,8	110,53
srpen	0,580	68,3	93,88
září	0,558	64,3	55,54
říjen	0,490	58,1	33,94
listopad	0,412	50,1	9,70
prosinec	0,344	40,7	6,14

Tabulka 8 – Účinnost kolektoru a jeho měrný tepelný zisk

Jako měsíc s rovnovážnou bilancí volím duben.

Výpočet potřebné aperturní plochy kolektorů:

$$S = \frac{Q_{\text{duben}}}{Q_{K,\text{duben},SK}} = \frac{602,40}{54,95} = 10,96 \text{ m}^2 \quad (13)$$

Kde  $Q_{\text{duben}}$  je hodnota z tabulky 3 a  $Q_{K,\text{duben},SK}$  je hodnota z tabulky 8.

Výpočet počtu potřebných solárních kolektorů:

$$n_a = \frac{S}{S_a} = \frac{10,96}{2,392} = 4,58 \text{ kolektorů} \quad (14)$$

Kde  $S_a$  je plocha apertury solárního kolektoru z přílohy č. 1 (technického listu solárního kolektoru)

Dle výpočtu volím pro náš RD pět solárních kolektorů typu KPG1+  $\Rightarrow n_{a,\text{skut}} = 5$ .  
Kolektory budou zapojeny sériově.

Výpočet celkové plochy apertury pěti solárních kolektorů:

$$S_{\text{cel}} = n_{a,\text{skut}} \cdot S_a = 5 \cdot 2,392 = 11,96 \text{ m}^2 \quad (15)$$

## 2.5. Určení energetické bilance pro jednotlivé měsíce

V této kapitole budu zjišťovat energetickou bilanci těchto mnou navržených solárních kolektorů. Budu počítat, jaké budou nedostatky a přebytky energie v průběhu roku. Náznorně provedu výpočet pro měsíc leden, výsledky pro ostatní měsíce uvedu do tabulky.

Výpočet energie zachycené pěti kolektory v měsíci lednu:

$$Q_{\text{cel,leden},SK} = S_{\text{cel}} \cdot Q_{K,\text{leden},SK} = 11,96 \cdot 13,49 = 161,36 \text{ kWh} \quad (16)$$

Kde  $Q_{K,\text{leden},SK}$  je hodnota z tabulky 8.

Výpočet nedostatku/přebytku energie za leden:

$$P_{\text{leden}} = Q_{\text{cel,leden},SK} - Q_{\text{leden}} = 161,36 - 622,48 = -461,12 \text{ kWh} \quad (17)$$

Kde  $Q_{\text{leden}}$  je hodnota z tabulky 3.

měsíc	<b>získaná energie</b>	<b>nedostatek</b>	<b>přebytek</b>
	<b>Q<sub>cel, měsíc, SK</sub></b>	<b>N</b>	<b>P</b>
	<b>[kWh]</b>	<b>[kWh]</b>	<b>[kWh]</b>
leden	161,36	461,12	-
únor	258,69	303,55	-
březen	435,32	187,16	-
duben	657,15	-	54,75
květen	1070,36	-	447,88
červen	1043,44	-	441,04
červenec	1321,97	-	699,49
srpen	1122,77	-	500,29
září	664,26	-	61,86
říjen	405,90	216,58	-
listopad	116,01	486,39	-
prosinec	73,41	549,07	-
Σ	7330	2203	2205

Tabulka 9 – Získaná energie a nedostatky/přebytky v jednotlivých měsících

Výpočet maximálního celoročního zisku solární soustavy:

$$Q_{\max,c} = \sum Q_{\text{cel,měsíc,SK}} = 7\,330 \text{ kWh/rok} \quad (18)$$

Výpočet skutečného celoročního zisku solární soustavy:

$$Q_{\text{skut}} = Q_{\max,c} - \sum P = 7\,330 - 2\,205 = 5\,125 \text{ kWh/rok} \quad (19)$$

Kde  $\sum P$  je suma všech přebytků z tabulky 9.

Výpočet měrného maximálního celoročního zisku solární soustavy:

$$Q_{\max,m} = \frac{Q_{\max,c}}{S_{\text{cel}}} = \frac{7\,330}{11,96} = 613 \text{ kWh/(rok} \cdot \text{m}^2) \quad (20)$$

Kde  $S_{\text{cel}}$  je celková plocha apertury kolektorů vypočtena v rovnici 15



Výpočet měrného skutečného celoročního zisku solární soustavy:

$$Q_{skut,m} = \frac{Q_{skut}}{S_c} = \frac{5\,125}{11,96} = 429 \text{ kWh}/(\text{rok} \cdot \text{m}^2) \quad (21)$$

Určení faktoru pokrytí kolektory:

$$f = \frac{Q_{skut}}{\sum Q_{rok}} = \frac{5\,125}{7\,329} = 0,7 \quad (22)$$

Kde hodnota  $\sum Q_{rok}$  je z tabulky 3.

Teplou vodu bude ohřívat solární kolektor ze 70%. Zbytek energie bude dodávat plynový kotel.

## 2.6. Volba soustavy

K další realizaci solární soustavy budu používat příslušenství od společnosti Regulus s.r.o. Dle návodu na montáž a provoz solární soustavy s kolektory KPG1+ volím montážní sadu pro upevnění a připojení pěti solárních kolektorů typu KPG1+, podpěry pro uchycení na šikmou střechu, háky pro vlnité tašky a expanzní nádobu SL040 s objemem 40 litrů. Jako další části soustavy volím zásobník R2BC 500 s objemem 500 litrů a dvěma tepelnými výměníky a čerpadlovou skupinu S2 SRS2 TE se separátorem vzduchu, integrovaným regulátorem a s možností sepnutí bivalentního zdroje. Bude se tedy jednat o soustavu s bivalentním zásobníkem.

V níže uvedené tabulce 10 uvádím základní prvky solární soustavy.

název součásti	počet kusů
solární kolektor KPG1+	5
zásobník R2BC 500	1
čerpadlová skupina S2 SRS2 TE	1
expanzní nádoba SL040	1
sada upevňovací a propojovací pro 5 kolektorů KPG1	1

Tabulka 10 – Základní součásti solární soustavy

## **2.7. Způsob provozování soustavy**

Tato mnou zvolená solární soustava bude plnit funkci přípravy TV, kterou doposud zastával plynový kotel. Kotel bude nadále plnit funkci vytápění RD a v případě nízkých zisků ze solárního ohřevu (zejména v zimních měsících) se bude podílet na dohřevu TV.

### 3. Optimalizace sklonu kolektorů vzhledem k celoročnímu skutečnému zisku

V této kapitole se budu zabývat výpočtem energetických zisků při různém sklonu kolektorů. Budu počítat případy sklonu o velikosti 0°, 15°, 30°, 60°, 75° a 90°.

#### 3.1. Výpočet celoročního skutečného zisku

Postup výpočtu je totožný jako v kapitole 2 pro sklon 45°, pouze se mění teoretická energie ze slunce  $Q_{S,den,teor}$ . V níže uvedené tabulce 11 jsou uvedeny hodnoty  $Q_{S,den,teor}$  pro jednotlivé velikosti sklonu. Výsledné hodnoty uvedu do tabulky společně s výpočtem pro sklon 45° a následně vyhodnotím, při kterém sklonu je celoroční skutečný zisk největší.

měsíc	$Q_{S,den,teor} [kWh/(m^2 \cdot den)]$					
	0°	15°	30°	60°	75°	90°
leden	1,55	2,30	2,96	3,71	3,90	3,96
únor	2,74	3,75	4,48	5,26	5,32	5,00
březen	4,93	5,82	6,44	6,54	6,24	5,56
duben	6,73	7,50	7,98	7,41	6,44	4,49
květen	8,38	9,12	9,56	8,09	6,44	4,49
červen	9,16	9,76	9,98	8,48	6,44	4,31
červenec	8,38	9,12	9,56	8,09	6,44	4,49
srpen	6,73	7,50	7,98	7,41	6,44	4,49
září	4,93	5,82	6,44	6,54	6,24	5,56
říjen	2,74	3,75	4,48	5,26	5,32	5,00
listopad	1,55	2,30	2,96	3,71	3,90	3,96
prosinec	1,09	1,78	2,35	3,00	3,08	3,11

Tabulka 11 – Hodnoty pro teoretickou energii ze slunce pro jednotlivé sklony kolektorů [5]

sklon kolektorů	celoroční skutečný zisk [kWh/rok]
	$Q_{c, sk}$
0°	3 984
15°	4 577
30°	4 935
45°	5 125
60°	5 212
75°	5 125
90°	4 109

Tabulka 12 – Hodnoty celoročního skutečného zisku pro různé sklony kolektorů

### 3.2. Stanovení sklonu solárních kolektorů

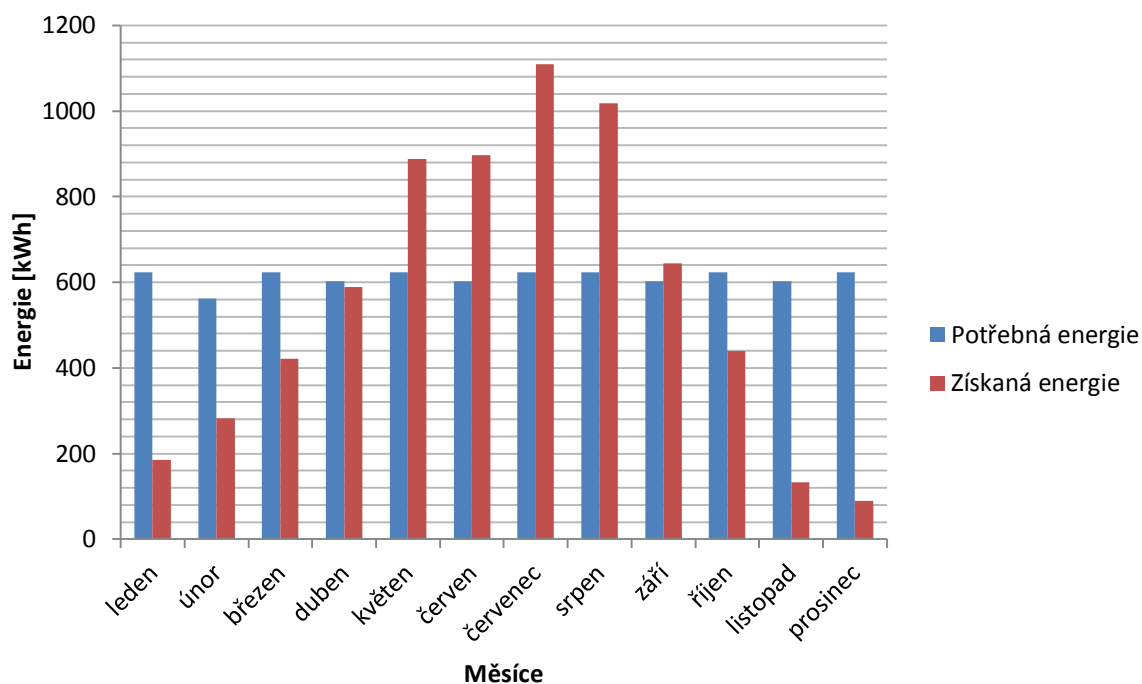
Vzhledem k výpočtům celoročního skutečného zisku volím sklon kolektorů 60°. Naše střecha, na kterou se budou kolektory instalovat již má sklon 60°, není tedy třeba použít podpěry pro uchycení na šikmou střechu.

### 3.3. Energetické zisky pro sklon kolektorů 60°

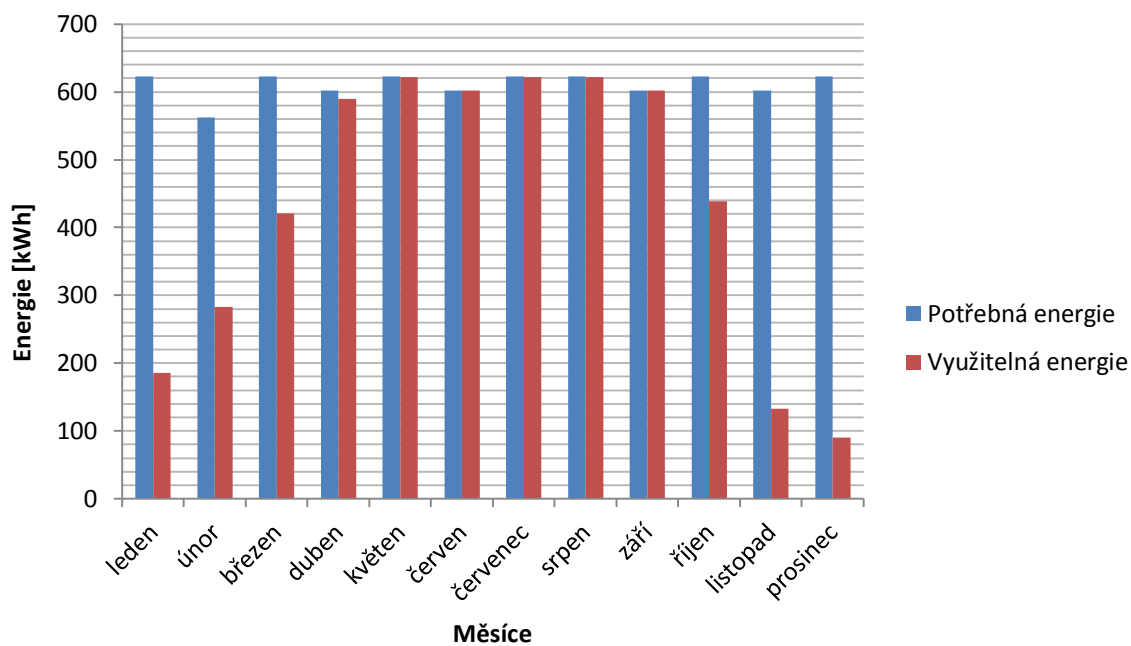
V této kapitole uvedu energetické zisky solární soustavy, když sklon kolektorů bude 60°. Také zde uvedu graf jejich porovnání s potřebným teplem pro ohřev teplé vody. Výpočet je totožný jako v kapitole 2, pouze se mění teoretická energie ze slunce  $Q_{S, den, teor}$ . Tyto hodnoty jsou uvedeny v tabulce 11. Výsledné hodnoty zaznamenám do níže uvedené tabulky 13.

měsíc	získaná energie	potřebná energie	nedostatek	přebytek	energie bez přebytku	účinnost kolektorů
	$Q_{\text{cel, měsíc, SK}}$	$Q_{\text{měsíc}}$	N	P	$Q_{\text{cel, měsíc, SK-P}}$	$\eta$
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[%]
leden	186	622	436	-	186	50
únor	283	562	289	-	283	53
březen	421	622	201	-	421	58
duben	590	602	12	-	590	60
květen	888	622	-	266	622	63
červen	896	602	-	294	602	65
červenec	1 109	622	-	487	622	67
srpen	1 019	622	-	397	622	67
září	645	602	-	43	602	64
říjen	439	622	183	-	439	59
listopad	133	602	469	-	133	52
prosinec	90	622	532	-	90	45
$\Sigma$	6 696	7 329	2 122	1 487	5 212	-

Tabulka 13 – Přehled výsledných hodnot a zisků pěti solárních kolektorů KPG1+ při sklonu 60°



Graf 1 – Porovnání potřebné energie s maximální získanou energií ze solárních kolektorů



Graf 2 – Porovnání potřebné energie s využitelnou energií ze solárních kolektorů

## 4. Vyhodnocení návrhu z ekonomického hlediska

V této části se budu zabývat ekonomickým přínosem této mnou navržené solární soustavy. Zjistím, kolik peněz ušetříme na přípravě teplé vody za rok a také jaká je návratnost investice.

### 4.1. Výpočet úspor pro přípravu teplé vody

V této kapitole se budu věnovat výpočtu uspořené financí, při využívání solárního systému. Výpočet provedu pro měsíc leden. Výsledky pro ostatní měsíce uvedu do tabulky. Pro přípravu TV používáme plynový kondenzační kotel Immergas VICTRIX ZEUS s účinností 95%. Jako palivo užíváme zemní plyn.

	výhřevnost	cena za 1 m <sup>3</sup>
	$Q_i$	$C_{pal}$
zemní plyn	33,48 MJ/m <sup>3</sup> (9,3 kWh)	13,3 Kč

Tabulka 14 – Výhřevnost a cena zemního plynu [11], [12]

Výpočet úspory paliva za měsíc leden:

$$V_{pal,leden} = \frac{Q_{c,leden,SK-P}}{\eta \cdot Q_i} = \frac{186}{0,95 \cdot 9,3} = 21 \text{ m}^3/\text{leden} \quad (23)$$

Kde  $\eta$  je účinnost plynového kotle udávána výrobcem,  $Q_i$  je výhřevnost paliva z tabulky 14 a  $Q_{c,leden,SK-P}$  je hodnota z tabulky 13.

Výpočet ceny uspořené paliva pro měsíc leden:

$$C_{pal,leden} = V_{pal,leden} \cdot C_{pal} = 21 \cdot 13,3 = 280 \text{ Kč/leden} \quad (24)$$

Kde  $C_{pal}$  je hodnota z tabulky 14.



měsíc	úspora paliva	cena uspořeného paliva
	$V_{\text{pal, měsíc}}$	$C_{\text{pal, měsíc}}$
	$[\text{m}^3]$	$[\text{Kč}]$
leden	21	280
únor	32	426
březen	48	634
duben	67	888
květen	70	936
červen	68	906
červenec	70	936
srpen	70	936
září	68	906
říjen	50	661
listopad	15	200
prosinec	10	135
$\Sigma$	590	7846

Tabulka 15 – Úspora paliva a jeho cena

Roční úspora na palivu:

$$C_{\text{pal, rok}} = \sum C_{\text{pal, měsíc}} = 7846 \text{ Kč/rok} \quad (25)$$

Kde  $C_{\text{pal, měsíc}}$  je hodnota z tabulky 15.

#### 4.2. Výpočet ceny elektrické energie pro provoz oběhového čerpadla

Naše rodina odebírá elektrickou energii od skupiny ČEZ se sazbou D 02d. Uvažuji, že oběhové čerpadlo spotřebuje přibližně 5% z energie vyrobené solárními kolektory. Do elektrické spotřeby nezapočítávám regulační jednotku z důvodu jejího nízkého příkonu.

	cena za 1 MWh
	$C_{\text{el}}$
elektrická energie v tarifu D 02d	4 099,66 Kč

Tabulka 16 – Cena elektrické energie [13]

Výpočet roční spotřeby elektrické energie oběhovým čerpadlem:

$$SP_{o\check{c}} = 0,05 \cdot Q_{c,rok,SK-P} = 0,05 \cdot 5212 = 261 \text{ kWh} = 0,261 \text{ MWh} \quad (26)$$

Kde  $Q_{c,rok,SK-P}$  je hodnota z tabulky 12 a hodnota 0,05 znázorňuje 5% ze získané energie solárními kolektory.

Výpočet ceny elektrické energie potřebné pro chod oběhového čerpadla:

$$C_{el,rok} = SP_{o\check{c}} \cdot C_{el} = 0,261 \cdot 4099,66 = 1070 \text{ Kč/rok} \quad (27)$$

Kde  $C_{el}$  je hodnota z tabulky 16.

### 4.3. Výpočet celkové roční úspory

$$\dot{U}_{cel,rok} = C_{pal,rok} - C_{el,rok} = 7846 - 1070 = 6776 \text{ Kč/rok} \quad (28)$$

Kde  $C_{pal, rok}$  je hodnota vypočtená v rovnici 25 a  $C_{el, rok}$  je hodnota vypočtená v rovnici 27.

### 4.4. Výpočet návratnosti investice

Investiční náklady pro pořízení solární soustavy:

název součástí	cena [Kč]
solární kolektor KPG1+	72 540
zásobník R2BC 500	30 990
čerpadlová skupina S2 SRS2 TE	18 961
expanzní nádoba SL040	2 287
sada upevňovací a propojovací pro 5 kolektorů KPG1	7 623
solarten HT 25 (solární kapalina)	5 566
montáž	1 500
projekce	2 300
$\Sigma$	141 767

Tabulka 17 – Investiční náklady na solární soustavu

Celkové investiční náklady:

$$N_{\text{inv,celk}} = 141\,767 \text{ Kč} \quad (29)$$

Výpočet prosté návratnosti investic za 1. rok provozu:

$$PN = \frac{N_{\text{inv,celk}}}{\dot{U}_{\text{cel,rok}}} = \frac{141\,767}{6\,776} = 20 \text{ let a 11 měsíců} \quad (30)$$

Kde  $\dot{U}_{\text{cel,rok}}$  je hodnota vypočtená v rovnici 28.

## 5. Vyhodnocení návrhu z environmentálního hlediska

V této části se budu věnovat snížení množství znečišťujících látek (ZL) vypouštěných do ovzduší, které je způsobeno užíváním solárního systému. Mezi tyto ZL patří hlavně TZL,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , CO a organické látky (OL). Výpočet budu provádět dle emisních faktorů uvedených ve vyhlášce č.205/2009. Mimo snížení množství ZL provozem solární soustavy dochází také k produkci ZL vlivem spotřeby elektrické energie oběhovým čerpadlem.

### 5.1. Výpočet uspořené roční množství emisí

Uspořené množství TZL:

$$E_{u,\text{TZL}} = V_{\text{pal,rok}} \cdot \frac{E_{f,\text{TZL}}}{10^6} = 590 \cdot \frac{20}{10^6} = 12 \text{ g}_{\text{TZL}}/\text{rok} \quad (31)$$

Uspořené množství  $\text{SO}_2$ :

$$E_{u,\text{SO}_2} = V_{\text{pal,rok}} \cdot \frac{E_{f,\text{SO}_2}}{10^6} = 590 \cdot \frac{19,2}{10^6} = 11 \text{ g}_{\text{SO}_2}/\text{rok} \quad (32)$$

Uspořené množství  $\text{NO}_x$ :

$$E_{u,\text{NO}_x} = V_{\text{pal,rok}} \cdot \frac{E_{f,\text{NO}_x}}{10^6} = 590 \cdot \frac{1300}{10^6} = 767 \text{ g}_{\text{NO}_x}/\text{rok} \quad (33)$$

Uspořené množství CO:

$$E_{u,CO} = V_{pal,rok} \cdot \frac{E_{f,CO}}{10^6} = 590 \cdot \frac{320}{10^6} = 189 \text{ g}_{CO}/rok \quad (34)$$

Uspořené množství OL:

$$E_{u,OL} = V_{pal,rok} \cdot \frac{E_{f,OL}}{10^6} = 590 \cdot \frac{64}{10^6} = 38 \text{ g}_{OL}/rok \quad (35)$$

Kde hodnoty emisních faktorů  $E_f$  [ $\text{kg}/(10^6 \cdot \text{m}^3)$ ] jednotlivých ZL jsou určeny z emisních faktorů pro znečišťující látky. Hodnota  $V_{pal,rok}$  je určena z tabulky 15.

znečišťující látka	emisní faktor	ušetřené množství ZL
	[ $\text{kg}/(10^6 \cdot \text{m}^3)$ ]	[g/rok]
TZL	20	12
SO <sub>2</sub>	19,2	11
NO <sub>x</sub>	1 300	767
CO	320	189
OL	64	38

Tabulka 18 – Snížení znečišťujících látek za rok provozu

Emisní faktory pro znečišťující látky:

Druh paliva	Druh topeniště	Jmenovitý tepelný výkon zdroje	TZL	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	Org. látky*	Jednotka
zemní plyn	jakékoliv	=< 0,2 MW	20	2,0 x S (9,6)	1300	320	64	kg/106 m <sup>3</sup> spáleného plynu
		> 0,2 =< 5 MW	20	2,0 x S (9,6)	1300	320	64	
		> 5 =< 50 MW	20	2,0 x S (9,6)	3300	270	24	
		> 50 =<100 MW	20	2,0 x S (9,6)	4200	270	24	
		> 100 MW	20	2,0 x S (9,6)	5000	270	8	

Obrázek 9 – Emisní faktory pro znečišťující látky

Poznámka: S - obsah síry v původním vzorku paliva pro kapalná paliva (% hm.),  
propan-butan (g/kg), plynná paliva (mg/m<sup>3</sup>)

## 5.2. Výpočet ročního navýšení množství emisí provozem oběhového čerpadla

Spotřebu elektrické energie oběhovým čerpadlem jsem spočítal v rovnici 26 a její hodnota je 261 kWh/rok. Jelikož emisní faktor je uveden v kg/GJ musím ji nejprve převést.

Převod elektrické energie na GJ:

$$SP'_{o\check{c}} = SP_{o\check{c}} \cdot 3600 = 261 \cdot 3600 = 939\,600 \text{ KJ} = 0,94 \text{ GJ/rok} \quad (36)$$

Kde  $SP_{o\check{c}}$  je hodnota z rovnice 26.

znečišťující látka	emisní faktor	spotřeba oběhového čerpadla	množství vyprodukovaných ZL
	[kg/GJ]	[GJ/rok]	[kg/rok]
TZL	0,03	0,94	0,03
SO <sub>2</sub>	0,49		0,46
NO <sub>x</sub>	0,42		0,39
CO	0,04		0,04
OL	0,03		0,03
CO <sub>2</sub>	325,00		305,50

Tabulka 19 – Nárůst ZL za jeden rok

Hodnota emisních faktorů v tabulce 19 je určena z emisních faktorů pro systémovou elektřinu.

Typ zdroje emisí	TL	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	Org. látky*	CO <sub>2</sub>	Zdroj dat
elektřina - systémové zdroje (včetně jaderných a vodních)	0.02591	0.489376	0.415698	0.0393	0.03086	325	Zdroj: SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , - Schválený scénář Státní energetické koncepce z roku 2004, emisní faktory pro rok 2005 (po uvedení Temelína do provozu, scénář je zpracován po 5 letech), TL, CO, org. látky - Katalog opatření pro snížení energetické náročnosti (propočty SRC International CS, s.r.o. na základě REZZO 1999); CO <sub>2</sub> - vyhl. č. 425/2004 Sb.

Tabulka 20 - Emisní faktory pro systémovou elektřinu (kg/GJ)

## **6. Grafická část – schéma zapojení.**

Viz příloha A

## 7. Závěr

Vzhledem k dosaženým výsledkům se dá konstatovat, že pro naši rodinu se investice do solárního ohřevu teplé vody bez dotace příliš nevyplatí. Doba návratnosti pouhých investičních nákladů je zhruba 21 let. Když vezmu v potaz, že jistě bude třeba provádět údržbu, tak se doba návratnosti ještě prodlouží. Životnost solárních kolektorů, které tvoří největší část investice, je 25-30 let. Tudíž se nám investice vrátí až ke konci životnosti solárních kolektorů. Z environmentálního hlediska sice ušetříme emise, ale jelikož jako palivo používáme zemní plyn, jehož spalování neprodukuje mnoho ZL, je tato úspora emisí zanedbatelná.

Ekonomická návratnost investice závisí také na vývoji ceny plynu. Pokud by se zemní plyn v nastávajících letech zdražoval, doba návratnosti by se zkrátila. Dalším vlivem by mohla být dotace od státu zelená úsporám, při které by se doba návratnosti mohla zkrátit až o 8 let.

## 8. Seznam použité literatury

- [1] MATUŠKA, T. Solární tepelné soustavy. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2009. 194 s. ISBN 978-80-02-02186-5.
- [2] MATUŠKA, T. Solární zařízení v příkladech. Praha: Grada Publishing, 2013. 256 s. ISBN 978-80-247-3525-2.
- [3] VRTEK, M. Sluneční energie. [online] Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2012. 111 s. [vid. 2016-10-10]. Dostupné z: <[http://fs1.vsb.cz/361/vyuka/vrt/AOZE/AOZE\\_FAST/ESF\\_Solarni\\_energie\\_Vrtek.pdf](http://fs1.vsb.cz/361/vyuka/vrt/AOZE/AOZE_FAST/ESF_Solarni_energie_Vrtek.pdf)>
- [4] Vytápění a ohřev teplé vody pomocí sluneční energie. [online] Praha, 2013. 38 s. Dostupné z: <<http://naucimevas.cz/wp-content/uploads/2013/12/vytapeni-a-ohrev-teple-vody-pomoci-slunecni-energie.pdf>>
- [5] CIHELKA, Jaromír. *Solární tepelná technika*. Praha: T. Malina, 1994. ISBN 80-900-7595-9.
- [6] KADLEC, Z. *Průvodce sdílením tepla pro požární specialisty*. Ostrava: VŠB–TUO Ostrava, 2009. 100 s. ISBN 978-80-7385-061-6
- [7] *Thermosolar - 3D řez plochým kolektorem* [online], [cit. 2017-03-30]. Dostupné z: <<http://www.thermosolar.sk/UserFiles/Image/Kolektory/TS500H-rez.png>>
- [8] *Envimarket - Trubicový solární kolektor* [online], [cit. 2017-03-30]. Dostupné z: <<http://www.envimarket.cz/picture.php?id=525&w=350&h=200>>
- [9] *Tzb - info - účinnostní charakteristika kolektorů* [online], [cit. 2017-03-30]. Dostupné z: <<http://www.tzb-info.cz/docu/clanky/0022/002298o2.gif>>
- [10] *Čez - jednookruhový solární systém* [online], [cit. 2017-03-30]. Dostupné z: <<https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k22.htm>>
- [11] *Vytápění.tzb - info - výhřevnosti paliv* [online], [cit. 2017-03-30]. Dostupné z: <<http://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/11-vyhrevnosti-paliv>>
- [12] *Vytápění.tzb - info - výpočet ceny zemního plynu* [online], [cit. 2017-03-30]. Dostupné z: <<http://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/95-prepocet-spotreby-zemniho-plynu-na-kwh>>



[13] *Vytapění.tzb - info - přehled cen elektrické energie* [online], [cit. 2017-03-30]. Dostupné z: <<http://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energie/14-prehled-cen-elektricke-energie#d01>>

[14] *Regulus - Instalace zásobníků* [online], [cit. 2017-03-30]. Dostupné z: <<http://www.regulus.cz/download/navody/cz/zasobnikove-ohrivacetr2dc-a4-cz.pdf>>

R2BC 500



Elektrické topné těleso

typ A



typ M



Magnesiová anoda



### Základní charakteristika

Použití	příprava teplé vody
Popis	zásobníkový ohřívač vody se dvěma integrovanými výměníky a s možností připojení el. topného tělesa
Pracovní kapalina	voda (zásobník), voda nebo směs voda-glykol (max. 1:1) (výměník)
Objednací kód	6 484

### Energetické parametry (dle Nařízení Komise (EU) č. 813/2013)

	<b>R2BC 500</b>
Třída energetické účinnosti	<b>C</b>
Statická ztráta	<b>102 W</b>
Užitný objem	<b>495 l</b>

### Technické údaje

Celkový objem zásobníku	514 l
Objem kapaliny v zásobníku	495 l
Objem kapaliny v horním výměníku	7 l
Objem kapaliny v dolním výměníku	12 l
Plocha horního výměníku	0,9 m <sup>2</sup>
Plocha dolního výměníku	1,9 m <sup>2</sup>
Max. teplota v zásobníku	95 °C
Max. teplota ve výměnících	110 °C
Max. tlak v zásobníku	10 bar
Max. tlak ve výměnících	10 bar

### Příprava teplé vody z 10 °C na 45 °C při teplotě otopné vody 60 °C

Horní výměník	760 l/h (31,1 kW)
Dolní výměník	1620 l/h (65,8 kW)

### Materiály

Materiál zásobníku	S235JR, vnitřní povrch smaltovaný (DIN 4756)
Materiál výměníku	S235JR+N, vnější povrch smalt (DIN 4756)
Materiál izolace	PU pěna (tvrdá)
Vnější povrch izolace	PVC / ABS

### Rozměry, klopná výška a hmotnost

Průměr zásobníku	650 mm
Průměr zásobníku s izolací	760 mm
Celková výška zásobníku	1780 mm
Klopná výška	1940 mm
Hmotnost prázdného zásobníku	168 kg

### Příslušenství

Elektrické topné těleso	typy ETT-A, D, F, G, M
Max. délka / výkon topného tělesa	680 mm / 9,0 kW
Elektronická anoda	objednací kód 9 174

### Náhradní díly (magnezievé anody)

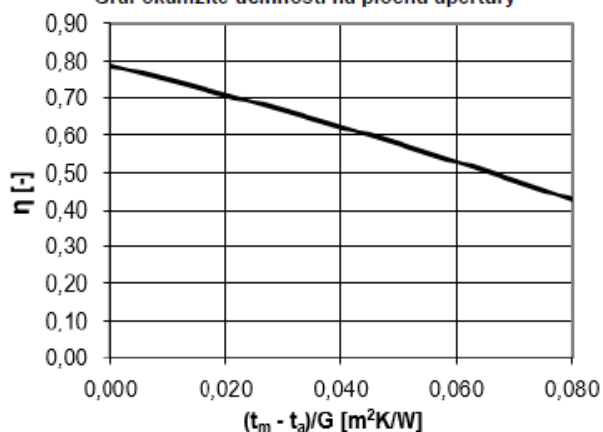
Mg anoda (A1), G 5/4"	objednací kód 448
Mg anoda do příruby (A2,3), G 5/4"	objednací kód 4 025

**Solární kolektor KPG1 +**

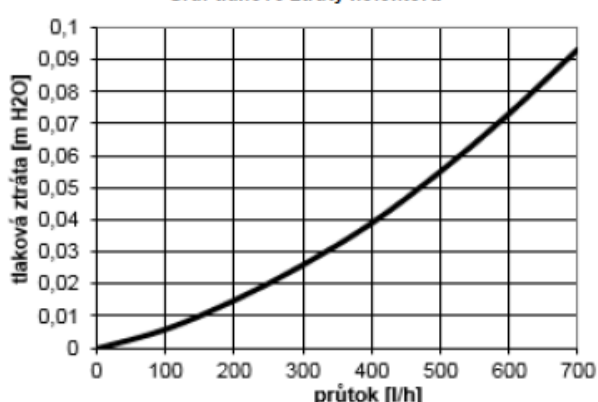
KPG1 +



Graf okamžité účinnosti na plochu apertury



Graf tlakové ztráty kolektoru



Objednací kód	14857
---------------	-------

**Rozměry a váhy**

výška x šířka x tloušťka	2150 x 1170 x 83 mm
stavební šířka	1250 mm
celková plocha	2,515 m <sup>2</sup>
plocha apertury	2,392 m <sup>2</sup>
plocha absorberu	2,309 m <sup>2</sup>
hmotnost bez kapaliny	38 kg

**Zasklení**

materiál	kalené nízkoželezné sklo
tloušťka	3,2 mm

**Absorbér**

materiál	hliník, tl. 0,5mm
povrchová úprava	TiNOx
konstrukční typ	lyrový, laserově svařovaný
materiál přípojovacích trubek	měď
rozměr přípojovacích trubek	4 x Ø 22 mm x 0,8 mm
materiál trubek absorberu	měď
rozměr trubek absorberu	12 x Ø 8 mm x 0,5 mm
maximální pracovní tlak	6 bar
maximální pracovní teplota	120 °C
stagnační teplota	234 °C
teplonosná kapalina	vodní roztok propylenglykolu (1,7 l)
doporučený průtok	60 – 120 l/h

**Tepelná izolace**

materiál izolace	minerální vlna
tloušťka izolace	40 mm

**Rám**

materiál rámu	hliníková slitina
barva rámu	stříbrná
materiál skříně	hliníková slitina, tl. 0,5mm

**Okamžitá účinnost na absorber / aperturu / celk. plochu**

$\eta_{0a}$ [-]	0,816	0,786	0,749
$a_{1a}$ [W/m²K]	3,900	3,747	3,580
$a_{2a}$ [W/m²K²]	0,0049	0,0048	0,0045

**Maximální výkon kolektoru při osvitu 1000 W/m²**

$Q_{max}$	1883 W
-----------	--------

**Modifikátor úhlu dopadu**

$K_{\theta 50^\circ}$	0,918
-----------------------	-------

**Testováno podle ČSN EN ISO 9806**

## **9. Seznam příloh**

Příloha A – Schéma solární soustavy

## **10. Seznam tabulek**

Tabulka 1 - Přirážka na tepelné ztráty přípravy teplé vody

Tabulka 2 - Vstupní hodnoty k výpočtům

Tabulka 3 - Spotřeba energie v jednotlivých měsících

Tabulka 4 - Vstupní hodnoty pro výpočet energetických zisků v dané lokalitě

Tabulka 5 - Zisky sluneční energie v jednotlivých měsících pro Ostravu

Tabulka 6 - Koeficienty účinnosti solárního kolektoru

Tabulka 7- Střední teploty v době slunečního svitu pro danou lokalitu

Tabulka 8 - Účinnost kolektoru a jeho měrný tepelný zisk

Tabulka 9 - Získaná energie a nedostatky/přebytky v jednotlivých měsících

Tabulka 10 - Základní součásti solární soustavy

Tabulka 11 - Hodnoty pro teoretickou energii ze slunce pro jednotlivé sklony kolektorů

Tabulka 12 - Hodnoty celoročního skutečného zisku pro různé sklony kolektorů

Tabulka 13 - Přehled výsledných hodnot a zisků pěti solárních kolektorů KPG1+ při sklonu 60°

Tabulka 14 - Výhřevnost a cena zemního plynu

Tabulka 15 - Úspora paliva a jeho cena

Tabulka 16 - Cena elektrické energie

Tabulka 17 - Investiční náklady na solární soustavu

Tabulka 18 - Snížení znečišťujících látek za rok provozu

Tabulka 19 - Nárůst ZL za jeden rok

Tabulka 20 - Emisní faktory pro systémovou elektřinu (kg/GJ)

## **11. Seznam obrázků**

Obrázek 1- 3D řez plochým solárním kolektorem Thermosolar TS 510 [7]

Obrázek 2 - Solární vakuový kolektor HP-58-1800-20 [8]

Obrázek 3 – Účinnostní charakteristika kolektorů [9]

Obrázek 4 - Schéma solární soustavy s předeřhřívacím zásobníkem [1]

Obrázek 5 – Schéma soustavy s bivalentním zásobníkem [1]

Obrázek 6 – Schéma jednookruhového samotížného systému [10]

Obrázek 7 - Dávky slunečního ozáření v ČR s vyznačením vhodných azimutů od jihu [2]

Obrázek 8 - Roční profil dávek slunečního ozáření na různě skloněné plochy [2]

Obrázek 9 – Emisní faktory pro znečišťující látky

## **12. Seznam grafů**

Graf 1 - Porovnání potřebné energie s maximální získanou energií ze solárních kolektorů

Graf 2 - Porovnání potřebné energie s využitelnou energií ze solárních kolektorů